AFORO DEL AGUA EN LOS CANALES (*)

POR MEDIO DEL

VERTEDERO TRAPEZOIDAL DE CIPOLLETTI

El aforo del agua en los canales de riego, es un problema que ha preocupado más ó menos, á todos los Ingenieros y prácticos que han tenido que hacer con esta clase de obras.

Las soluciones que este problema ha recibido son muy variadas; y como considero que una de las más sencillas y elegantes, cuando se puede disponer de un salto conveniente, es la ideada por el Ing. D. César Cipolletti (**) he creido hacer obra útil dando á conocer á los lectores de LA INGENIERIA la forma en que el distinguido ingeniero resolvió el problema que le fué propuesto mientras era Director de las obras del Canal Villoresi en Italia.

Según los términos de la concesión hecha á su favor por el gobierno italiano, la Compañía que debía construir y explotar el Canal Villoresi, debia proponer un módulo para el aforo de las aguas, que basado en la teoría de los vertederos libres, ofreciera amplias garantías de seguridad y precisión.

La fórmula que da el gasto de un vertedero libre es:

$$Q = m\, l\, H^{\frac{3}{2}} \sqrt{2\, g\, H} \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

en la cual Q es el gasto en m^3, por segundo,
l, el ancho del vertedero en m,
H, la *carga* del vertedero, ó altura del agua (en la parte no deprimida por la corriente) sobre la solera del vertedero.
g, la aceleración debida á la gravedad ($g = 9.794$ para San Juan).
m, un coeficiente experimental llamado *coeficiente de contracción* (***).

Reuniendo en un solo término los valores que en la fórmula más arriba citada, son invariables en los distintos vertederos, esto es, poniendo

$$m \frac{2}{3} \sqrt{g} = k$$

dicha fórmula se simplifica así:

$$Q = k\, l\, H^{\frac{3}{2}} \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

y el problema á resolver puede, entonces enunciarse de este modo:

«Determinar la forma y disposición de las diferentes partes de un vertedero libre, de tal modo, que conservando á la fórmula que da el gasto, bajo la forma simple de $Q = k\, l\, H^{\frac{3}{2}}$, permaneciendo constante k, para cualquier carga H y ancho l del vertedero, ninguna de las causas que influyen sobre el gasto, produzca un error mayor de 5 por mil sobre el valor efectivo de éste, comparado con el valor calculado.»

Las causas que influyen sobre el gasto de un vertedero pueden resumirse así:

1° Forma y disposición del canal de llegada al vertedero;

2° Forma y espesor de la chapa que limita la abertura del vertedero;

3° Distancia del vertedero al fondo y á las paredes del canal de llegada;

4° Velocidad del agua en dicho canal;

5° Relación entre el ancho del vertedero y la carga de agua;

6° Forma de los muros de caída y de ala de aguas abajo del vertedero y nivel del agua en el canal inferior;

7° Lugar y modo de determinación de la altura de carga;

8° Exactitud de construcción y precisión de las medidas.

FORMA Y DISPOSICIÓN DEL CANAL DE LLEGADA—El agua deberá llegar al vertedero sin agitación, con velocidad uniforme y en dirección normal á él.

Experiencias hechas en el canal Cavour, en Italia, han demostrado que para conseguir este resultado, basta que el canal de llegada tenga 20m de longitud, aun en los casos en que el agua entre á él con saltos de 40 ó 50 cents.

Cuando no se pueda establecer este canal de llegada regular, convendrá disponer, tan lejos del vertedero como sea posible, uno ó varios diafragmas perforados, para que el agua se amanse al atravesarlos.

FORMA Y ESPESOR DE LA CHAPA QUE LIMITA LA ABERTURA DEL VERTEDERO—Cuando el agua sale por una abertura de menor sección que la del recipiente ó canal de llegada, los diversos filetes líquidos al precipitarse por ella, se entrecruzan, y el líquido, después de haber pasado por dicha abertura, ofrece secciones notablemente menores que la de ella. La relación entre el área de la menor de estas secciones, y la de la abertura, es lo que se llama *coeficiente de contracción*.

Cuando el coeficiente de contracción adquiere el valor mínimo, se dice que la contracción es completa, llamándose incompleta en todo otro caso.

A fin de que el módulo estudiado sea tal que en él la influencia de la contracción pueda calcularse sin ambigüedad de ningún género, es preciso establecerlo de modo que se verifique la contracción completa.

Las experiencias instituídas por el autor, le han llevado, á este respecto, á las conclusiones prácticas siguientes:

Hay una relación íntima entre la carga de agua mínima que sobre una solera produce la contracción completa y el espesor de esta solera.

Para cargas menores de 0m 10 el espesor de la solera será á lo más, igual á 1/10 de la carga.

Para cargas comprendidas entre 0m 10 y 0m 60 el espesor de la solera será, á lo más, igual á 1/4 de la carga.

(*) En la preparación de estos apuntes se han tenido á la vista las publicaciones «Canale Villoresi, per l' Ingegnere Cesare Cipolletti—Milano 1888—U. Hoepli» y «The Cipolletti trapezoidal Weir by A. D. Flynn y C. W. D. Dyer—Transactions of Am Soc. C. E. Vol. XXXII—July 1894».

(**) Actualmente director de la Oficina Hidráulica de Mendoza y de varias importantes obras en las Provincias de San Juan y Tucumán.

(***) Los hidráulicos Americanos le llaman *coeficiente de gasto* (coefficient of discharge).

Cuando consideraciones de otro órden obliguen á dar mayor espesor á la solera, ésta se hará terminar en un plano normal al vertedero, y otro inclinado ádos ó tres de altura por uno de base, como se ve en la figura 1.

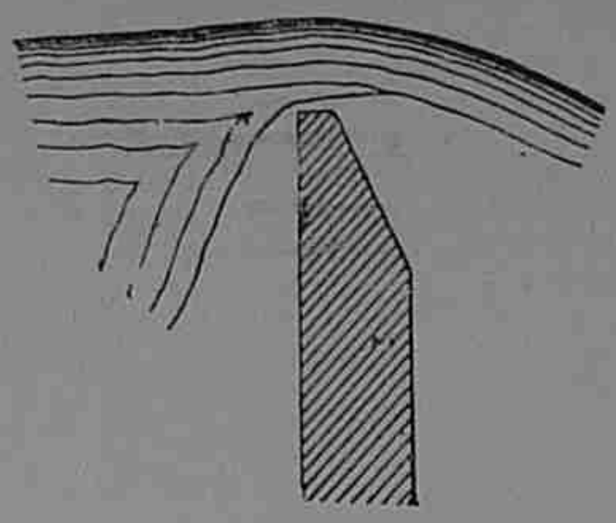


Figura 1

La abertura deberá practicarse en un plano vertical que vaya hasta el fondo y las paredes del canal de llegada;

En la parte aguas arriba la abertura del vertedero deberá terminar con aristas vivas.

Distancia del vertedero al fondo y á las paredes del canal de llegada—La experiencia prueba que la proximidad de las paredes y del fondo del canal de llegada al borde del vertedero, tiene una gran influencia sobre el valor de la contracción, estando comprobado que la distancia necesaria para que la contracción sea completa, es directamente proporcional á la carga del vertedero, y que para una carga determinada esta distancia tiene un límite, más allá del cual el gasto se mantiene constante.

De numerosas experiencias llevadas á cabo por Francis (*), el autor ha deducido las siguientes reglas prácticas:

Cuando el fondo del canal de llegada dista de la solera del vertedero *tres* veces la carga de éste, y las paredes del canal distan de los lados del vertedero *dos* veces la carga, el aumento del gasto sobre lo que correspondería á la contracción completa, es sólo de 1 ½ por mil, es decir, prácticamente nulo.

Si las distancias citadas se reducen á *dos y media* veces y *una y media* veces la carga, respectivamente, el aumento del gasto es de 5 por mil.

Si esas distancias se reducen á *dos* veces y *una* vez la carga, el gasto aumenta de 1 %.

Por lo demás, como se verá más abajo, las citadas distancias están ligadas con la condición por la cual la velocidad del agua en el canal de llegada no deberá ser superior á un límite determinado.

Velocidad del agua en el canal de llegada—La fórmula (2) da á conocer el gasto Q cuando el agua llega al vertedero como si éste estuviera colocado al borde de un estanque.

Si, por el contrario, el agua llega al vertedero con una velocidad v, calculando la altura h, correspondiente á esta velocidad v por medio de la fórmula $v^2 = 2\,g\,h$, el gasto será dado por

$$Q' = k\,l\left[(H + h)^{\frac{3}{2}} - h^{\frac{3}{2}}\right] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

La determinación de la velocidad v con la cual se ha de calcular el valor h ofrece dificultades en la práctica y como v no puede anularse en absoluto, conviene determinar cuál ha de ser su límite superior, á fin de que el error que se cometa al despreciar su influencia sobre Q, no pase de una relación determinada.

Sea r dicha relación se deberá tener, entonces,

$$r = \frac{Q' - Q}{Q}$$

Pongamos en esta última expresión por Q y Q' sus valores dados por (2) y (3) tendremos así, suprimiendo los factores comunes,

$$r = \frac{(H + h)^{\frac{3}{2}} - h^{\frac{3}{2}} - H^{\frac{3}{2}}}{H^{\frac{3}{2}}}$$

y desarrollando el binomio entre paréntesis,

$$r = \frac{H^{\frac{3}{2}} + \frac{3}{2}H^{\frac{1}{2}}h + \ldots\ldots - h^{\frac{3}{2}} - H^{\frac{3}{2}}}{H^{\frac{3}{2}}}$$

expresión que á causa de la pequeñez de h con respecto á H, en virtud de lo cual pueden suprimirse todos los términos en que aparezca elevada á una potencia superior á la primera, se reduce á

$$r = \frac{\frac{3}{2}H^{\frac{1}{2}}h}{H^{\frac{3}{2}}} = \frac{3\,h}{2\sqrt{H}} \text{ de donde}$$

$$h = \frac{2}{3}r\,H \quad \text{y} \quad v = \sqrt{2\,g\,h} = \sqrt{\frac{2r}{3}}\sqrt{2\,g\,h}$$

Si ω es la sección del canal de llegada, se tiene evidentemente, $\omega = \frac{Q}{v}$ y poniendo por Q el valor (1) y por v el que acaba de hallarse,

$$\omega = m\sqrt{\frac{2}{3}}\,\frac{l\,H}{\sqrt{r}}$$

y si á m se le da el valor 0,62 generalmente adoptado,

$$\omega = 0{,}50\,\frac{l\,H}{\sqrt{r}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

Si se hace sucesivamente $r = \frac{1}{100}, \frac{1}{200}, \frac{1}{400}$, se tendrá $\omega = 5\,l\,H,\ 7\,l\,H,\ 10\,l\,H$, lo que nos hace ver que cuando la sección ω del canal de llegada es 5, 7 ó 10 veces la sección l H de la abertura del vertedero, el error que sobre el gasto se comete al despreciar la velocidad del agua en el canal de llegada, es respectivamente de 1/100, 1/200 y 1/400 del gasto efectivo.

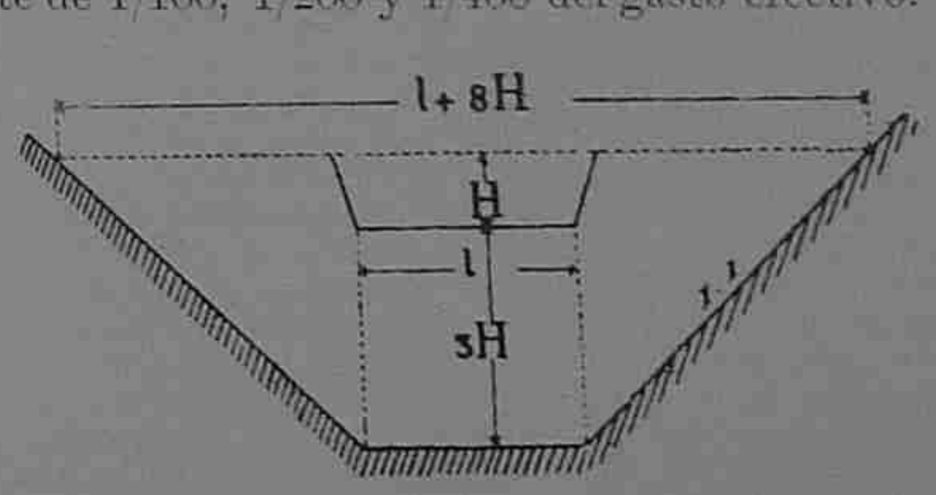


Figura 2

Al tratar más arriba de la causa tercera que influye sobre el gasto del vertedero, llegó á la conclusión de que para que dicho gasto resultase prácticamente independiente de la acción del fondo del canal de llega-

(*) Lowell hydraulic experiments by James B. Francis—New-York 1871.

da, bastaba que este fondo distara de la solera tres veces la altura H. Si, llenando esta condición, se da al fondo del canal el ancho *l* de la abertura del vertedero y se hacen las paredes del canal con talud de 1: 1 (Fig. 2), se tendrá

$$\omega = 4\,H\,(l + 4\,H)$$

Más abajo se verá que para la constancia de las contracciones laterales conviene que H no sea mayor que ½ l; si se supone, entonces, $l = 3H$, se tendrá con la forma del canal adoptada,

$$\omega = 4\,H\,(3\,H + 4\,H) = 28\,H^2$$

y, por otra parte, poniendo $r = \frac{1}{200}$ en (4),

$$\omega = \tfrac{3}{2}\sqrt{200\,H^2} = 21{,}21\,H^2$$

Esto nos dice que, cuando se haya satisfecho á la condición relativa á la influencia del fondo del canal de llegada sobre el gasto, implícitamente se habrá también satisfecho á la condición relativa á la influencia de la velocidad del agua en el mismo canal.

José S. Corti.

Ingeniero Civil.

(Continuará).

EXPLOSION DE UNA CALDERA DE LOCOMOTORA

EN LA ESTACIÓN CONSTITUCIÓN

De acuerdo con lo que manifestamos en el número anterior publicamos otro de los informes que al respecto se presentaron á requisición del Sr. Juez de Instrucción Dr. Luis A. Navarro:

Informe presentado al Sr. Juez de Instrucción Dr. Luis A. Navarro

Carlos Wauters y Francisco Stabile, peritos nombrados por V. S. para practicar un reconocimiento de la locomotora núm. 80, de propiedad de la empresa del Ferrocarril del Sur de la Provincia de Buenos Aires é informar sobre las causas que pueden haber producido la explosión de su caldera, en el proceso instruído con motivo de la muerte de Salvador Nocetti y lesiones de Eduardo Withers, José Bonafino, Julian Carreras y guarda Gil, en descargo del juramento que tenemos prestado y fiel cumplimiento de nuestro cometido, respetuosamente decimos:

Que con el objeto de satisfacer los deseos de V. S. con relación á las necesidades del juicio y poder informar sin vacilaciones ni dudas, hemos inspeccionado detenidamente el terreno en que tuvo lugar el accidente, así como las diferentes piezas que según nos lo ha manifestado el depositario de las mismas han pertenecido á la locomotora destruída. Consideramos de nuestro deber hacer constar aquí, que las piezas que se nos aseguró corresponden á los aparatos de seguridad que se colocan en los generadores de vapor ó calderas, se hallaban diseminadas en varios grupos y en distintos depósitos de los talleres de Sola, de propiedad del Ferrocarril del Sur, sin que presenten signos especiales que permitan reconocerlos de los demás entre los cuales se encontraban, como pertenecientes en realidad á la caldera de la locomotora núm. 80 en el momento de la explosión.

En cuanto á los tapones fusibles especialmente, debemos hacer constar que el jefe de los talleres y tracción, señor Roberto Gould, ha incurrido en seria responsabilidad ante V. S. El día de nuestro primer reconocimiento solicitamos la entrega de dichos elementos de prueba, y el jefe nombrado nos manifestó que no los tenía en su poder sino que se hallaban en La Plata; recién al día siguiente nos fueron entregados dos tapones como habiendo pertenecido á la caldera de la locomotora núm. 80, pero sin que hayamos podido comprobarlo porque se hacen en moldes y presentan por tanto, todos los mismos caracteres y forma. El jefe de talleres y tracción había sido designado por V. S. depositario de las piezas que pertenecían á la locomotora núm. 80, con la constancia expresa de no permitir su traslación á otra parte.

Por las circunstancias que resultan de la lectura de nuestro informe V. S. podrá darse cuenta de que el problema se presenta de solución delicada, y el deseo de precisar la causa verdadera de la explosión ha ocasionado la demora con que presentamos éste nuestro dictamen pericial.

EXPOSICIÓN DE HECHOS

El 6 del corriente á las 5 a. m. salía de los talleres de Sola del Ferrocarril del Sur en dirección á la estación Constitución la locomotora núm. 80, arrastrando el coche dormitorio núm. 146 y el furgón núm. 683; la locomotora iba invertida, es decir con la chimenea hacia atrás, siguiéndole los demás vehículos en el orden indicado. Al llegar al punto A, señalado en el plano núm. 1 adjunto, entre las calles Ituzaingó y Uspallata, á 116 metros de la primera frente al galpón «Cochera», señalado en la calle Paraças con el núm. 245, hizo explosión la caldera de la locomotora; el cuerpo cilíndrico (fotografía núm. 1) fué lanzado al aire y cayó en C situado á 85 metros de A, dejando en el terreno una fuerte depresión y rebotando á 6 metros hasta quedar en el punto D en que fué hallado; la otra parte de la caldera en que va el hogar (fotografías núms. 2 y 3) fué lanzada hacia arriba á una altura que no nos ha sido posible precisar, y al caer destruyó la parte de atrás del coche dormitorio entrando en el furgón, donde fué hallada una vez detenida la marcha del convoy, en el punto señalado con la letra B en el plano de situación adjunto.

De las averiguaciones que hemos podido hacer, resulta que el cuerpo cilíndrico cayó con la abertura que corresponde á la placa tubular dirigida hacia Lomas y con el domo hacia abajo; en cuanto al hogar, se halló sobre el furgón con la parte del hogar hacia arriba y la parte abierta que corresponde á la parilla hacia Constitución, es decir en la misma situación que la indica la fotografía núm. 3, para un espectador con frente al sur. En el plano adjunto se observa la posición en que se encontraron los depósitos de agua y carbón, hallándose al lado del depósito de agua izquierdo al maquinista y al lado del de la derecha al foguista.

De las declaraciones que constan en autos el tren marchaba con una velocidad muy reducida, de más ó menos 10 kilómetros por hora.

LA LOCOMOTORA NÚMERO 80

Esta locomotora del Ferrocarril del Sur ha sufrido una transformación completa en los talleres de Sola.

En su forma primitiva fué fabricada en los talleres de Beyer Peacock y Cía. de Manchester (Inglaterra), y armada en los talleres de la empresa en 1890 con destino al servicio de tracción para trenes de pasajeros.

En esta forma primitiva, la locomotora era de dos ejes en boggies y dos acoplados, y su tender correspondiente de tres ejes libres, presentando la locomotora una distancia máxima no articulada de 1,98 m. entre boggies y de 2,31 m. entre ejes acoplados, y el tender uno de 3,34 m; las ruedas sobre los ejes en boggies de 0,965 m. de diámetro, de 1,727 las acopladas y las del tender de 1.117 m.

El bastidor sobre clásticos, ballestas y enganche de cadena presentaba los paragolpes laterales á una altura de 1,016 m. del riel, y distancia longitudinal entre centro de platillos de 14,58 m. y una trasversal de 1,956 m.

Los cilindros eran exteriores al bastidor, de 0,407 m. de diámetro y con una carrera de émbolo de 0,610 m., siendo el sistema de la distribución de Stephenson y el mecanismo para el cambio de marcha á rosca.

Esta locomotora con freno á mano de rosca y contínuos automáticos á vacío era de un peso total de 47.66 ton. vacía y 62,77 ton. en servicio, comprendiendo los pesos de la locomotora y tender respectivamente de 35,34 ton., 12,32 ton. y 38,33 ton., 24,44 ton. vacíos ó en servicio.

Para su alimentación tenía una capacidad de 9,07 ton. de agua y 3,95 ton. de combustible.

En Abril 19 próximo pasado fué modificada por la empresa del Ferrocarril del Sur en los talleres de Sola, presentando en su estado definitivo en el momento de la explosión la disposición